

OPTIMAL CONTROL PERMANENT MAGNET DIRECT CURRENT (PMDC) MOTOR MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

Rodhi Kelvianto 2211100195

Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Imam Robandi. M.T.

Ir. Teguh Yuwono

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember



OUTLINES

1. Pendahuluan

2. Pemodelan Sistem dan Algoritma

3. Simulasi dan Analisis

4. Penutup

LATAR BELAKANG

- Motor PMDC adalah motor yang memerlukan suplai tegangan searah pada kumparan jangkar untuk dikonversi menjadi energi mekanik. Agar sistem pengendalian kecepatan lebih baik maka diperlukan kontroler yang dapat mengendalikan sistem motor PMDC tersebut. Kontroler yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah kontroler PI.
- Kontroler PI adalah termasuk tipe kontroler yang paling populer yang berfungsi untuk meminimalisasi sinyal *error*. Elemen kontroler P dan I berfungsi untuk mempercepat respon sistem dan memperkecil overshoot.

Penggunaan PSO
sebagai metode
optimisasi kontroler PI

Ide

Optimisasi motor PMDC
berbasis PI controller
dengan metode PSO
Algorithm

Usulan

Diperoleh respon sistem
sesuai dengan yang
diinginkan

Hasil

Tujuan Penelitian

1. Menentukan permodelan Motor PMDC berbasis *PI controller* yang nilai parameter K_p dan K_i ditala dengan metode *PSO algorithm*
2. Mendapatkan perbandingan respon sistem motor PMDC antara menggunakan PI yang ditala secara *trial-error* dan PI yang dioptimisasi dengan PSO.
3. Untuk mengetahui karakteristik plant motor PMDC ketika motor tersebut diberi beban dan tidak diberi beban.

Batasan Masalah

1. Model sistem motor PMDC yang digunakan dalam Tugas Akhir ini diperoleh dari paper "*State Space Modeling and Eigenvalue Analysis of the Permanent Magnet DC Motor Drive System*" IEEE 2010.
2. Tugas Akhir hanya sebatas simulasi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software Matlab dan Simulink.
3. Parameter Motor PMDC diperoleh dari paper "*Sliding Mode Speed Control Of A DC Motor*", *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, IEEE 2011.
4. Kontroler yang digunakan adalah PI.
5. *Set Point* kecepatan motor PMDC adalah 100 rad/sec dan dibatasi hingga 120 rad/sec.
6. Torsi beban yang digunakan dibatasi hingga 2 Nm.
7. Motor diberi beban saat mencapai waktu 25 detik.
8. Tegangan motor dibatasi hingga 103,35 V.
9. Faktor ekonomi tidak diperhitungkan.
10. Faktor ripple diabaikan.
11. Rugi daya diabaikan.

PERMODELAN SISTEM DAN ALGORITMA

Konsep PI Controller

Parameter Sistem

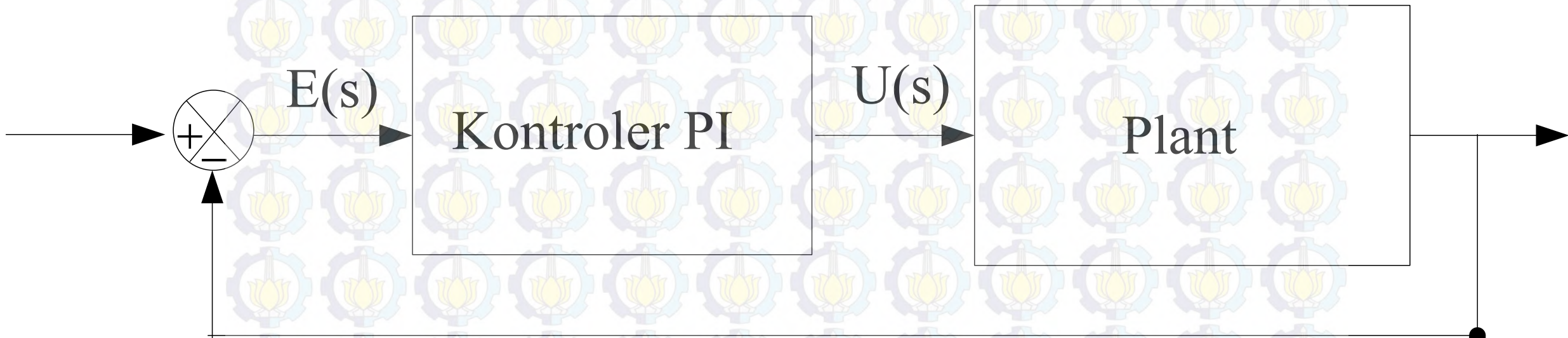
Konsep Kontroler PI

Pemodelan Motor PMDC dengan Kontroler PI

PSO Algorithm

Karakteristik Respon Sistem

KONSEP KONTROLER PI



Plant Sistem yang dilengkapi dengan Kontroler
PI

KONTROLER PI

❖ Persamaan PI dimodelkan :

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt$$

$u(t)$ adalah nilai yang dihitung oleh kontroler PI. K_p merupakan koefisien proporsional dan K_i merupakan koefisien integral.

Kontroler PI

	Waktu Tanjakan	Overshoot
Pembesaran K_p	Berkurang	Bertambah
Pembesaran K_i (Pengecilan T_i)	Sedikit berkurang	Bertambah

Kontroler PI

	Waktu Penetapan
Pembesaran Kp	Sedikit bertambah
Pembesaran Ki (Pengecilan Ti)	Bertambah



Parameter Sistem

PMDC Parameters	Nilai
Armature Resistance (RA)	0,6
Armature Inductance (LA)	0,012 H
moment of inertia of the rotor (JM)	0,0167 Kg m^2/s^2
damping (Friction) of the mechanical system (BM)	0,0167 Nms
Torque Constant (KT)	0.8 Nm/A
Back-Emf Constant (KB)	0.8 Vs/rad

Pemodelan Motor PMDC

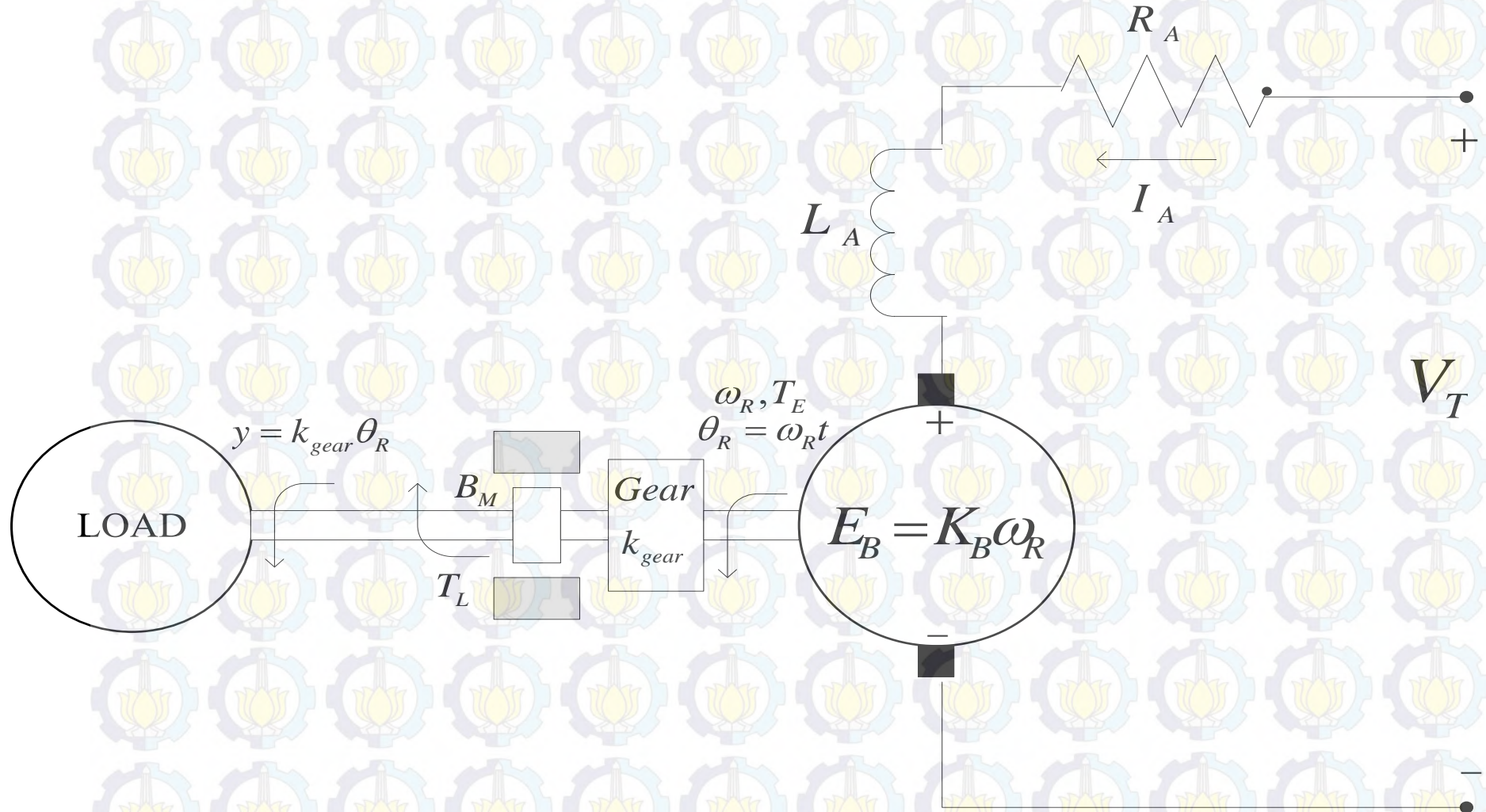
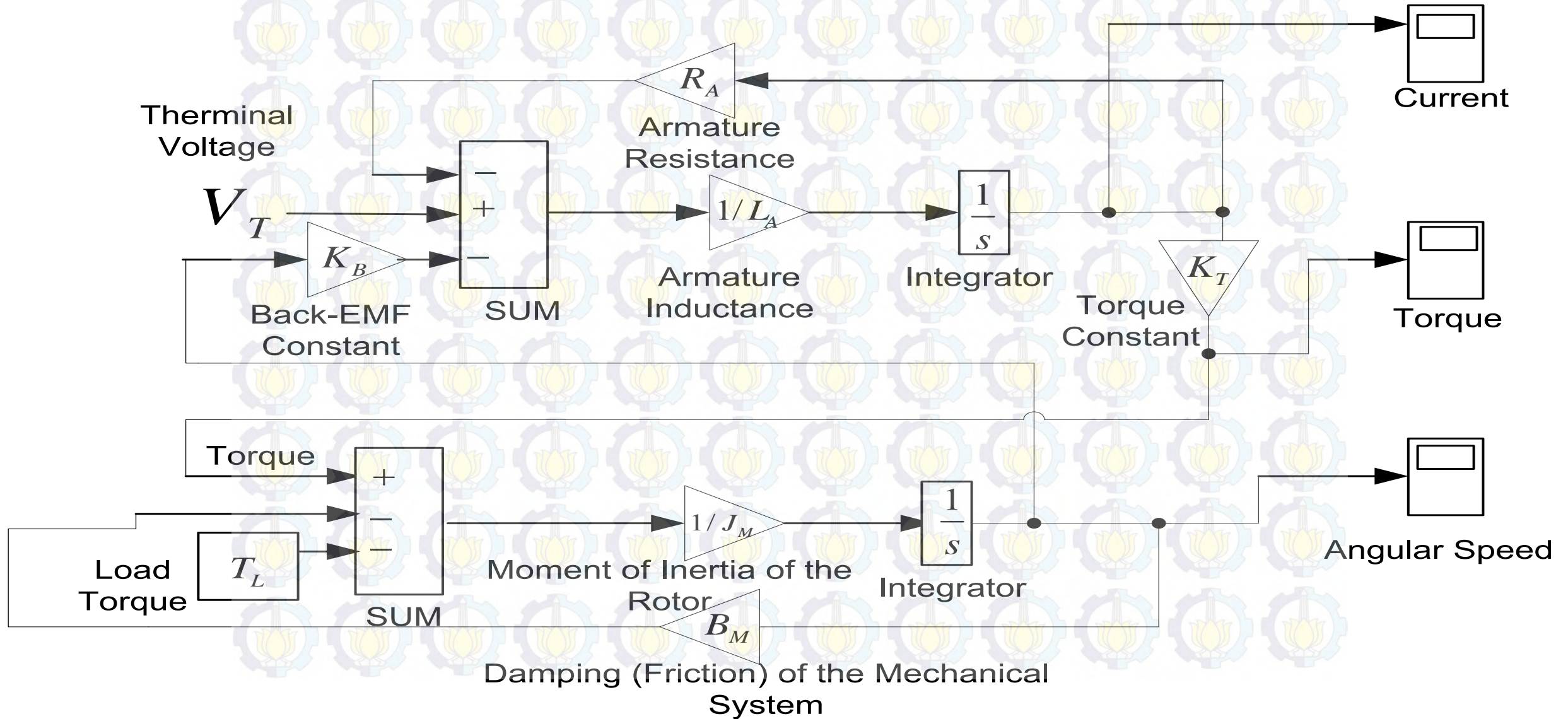
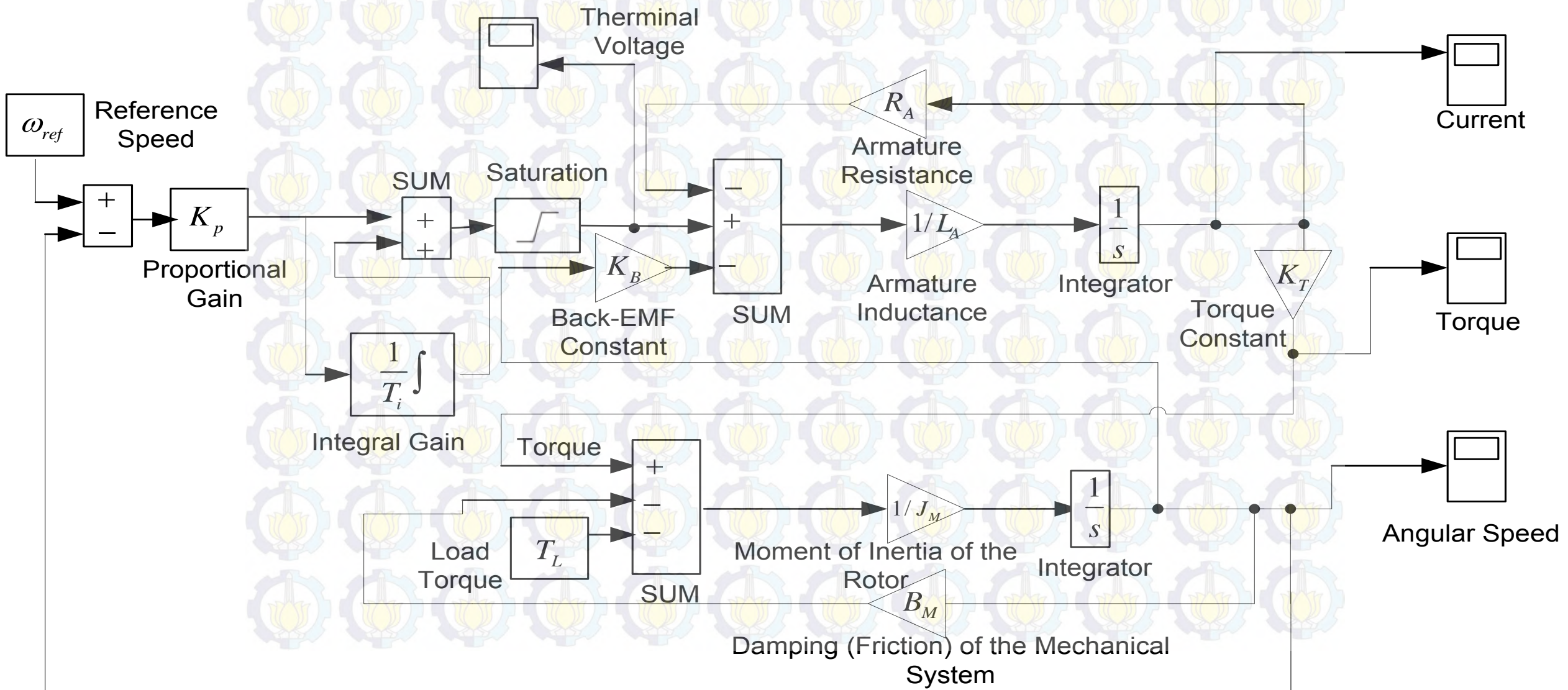


Diagram Skematik Motor PMDC

Pemodelan Motor PMDC (Open Loop)



Pemodelan Motor PMDC dengan Kontroler PI (Close Loop)



PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

- Algoritma PSO terinspirasi dari perilaku kawanan hewan seperti ikan, hewan herbivora, atau burung yang kemudian tiap objek tersebut disederhanakan menjadi sebuah partikel.
- Ciri khas metode ini adalah pengaturan kecepatan partikel secara heuristik dan probabilistik.

PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

- Pada saat burung mencari makanan, terdapat faktor eksternal yang menggerakkan burung tersebut dalam ruang pencarian sehingga burung dapat mencapai titik optimal.
- Faktor eksternal tersebut adalah posisi terbaik yang pernah dikunjungi, posisi terbaik seluruh burung, dan faktor kreativitas yang berfungsi untuk melakukan eksplorasi.

Particle Swarm Optimization (PSO)

- Setiap burung memiliki 2 karakteristik yaitu kecepatan dan posisi.
- Perilaku kawanan burung akan berdasarkan pada kombinasi faktor kohesi (terbang bersama), separasi (jarak tidak terlalu dekat), dan alignment (penyesuaian) yaitu mengikuti arah bersama.

Particle Swarm Optimization (PSO)

Jadi algoritma PSO dikembangkan berdasarkan model berikut ini :

1. Ketika seekor burung mendekati target atau makanan, maka burung tersebut akan memberitahu kawanan burung yang lainnya.
2. Secara tidak langsung, burung yang lain akan mengikuti arah tempat adanya makanan tersebut.
3. Ada memori pada setiap pikiran burung yaitu tentang apa yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)

- Saat burung terbang mencari makanan, setiap burung menentukan posisi berdasarkan pengalamannya (nilai ini yang disebut P_{best}) dan berdasarkan pengalaman dari partikel tetangganya (nilai ini yang disebut G_{best})

Rumus Update Kecepatan

$$V_{ir+1} = wV_{ir} + c1.rand(P_{best_{ir}} - X_{ir}) + c2.rand(Gbest_{ir} - X_{ir})$$

Rumus Update Posisi

$$X_{ir+1} = X_{ir} + V_{ir+1}$$

Keterangan :

X_{ir} : Posisi kecepatan partikel saat ini

V_{ir} : Kecepatan partikel saat ini

X_{ir+1} : Posisi partikel iterasi selanjutnya

V_{ir+1} : Posisi dan kecepatan partikel iterasi selanjutnya

$c1$: Konstanta cognitive

$c2$: Konstanta social acceleration

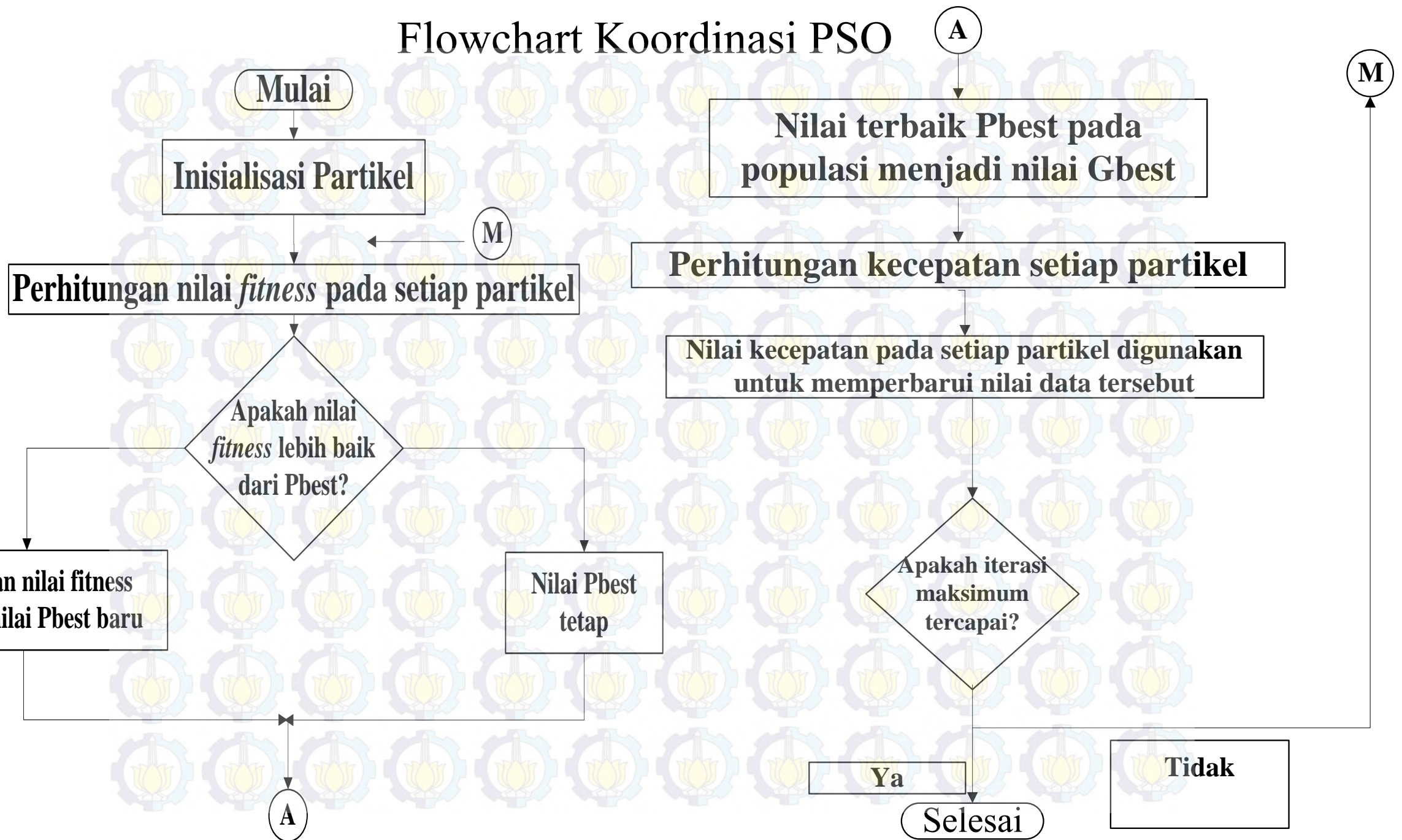
$rand$: Nilai random yang terdistribusi antara 0 dan 1

$P_{best_{ir}}$: Posisi terbaik dari partikel itu sendiri

$Gbest_{ir}$: Posisi terbaik dari seluruh populasi yang ada

W : Koefisien inersia

Flowchart Koordinasi PSO



Parameter PSO

Jumlah swarm	50
Jumlah variabel	2
Iterasi maksimal	20
$C1$	2
$C2$	2
$Inertia (w)$	0.4-0.9

Parameter Kontroler PI

K_p	τ_i
$0,1 \leq K_p \leq 0,13$	$0,01 \leq \tau_i \leq 0,03$

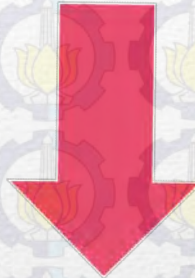
Hasil Optimisasi Parameter PI Menggunakan PSO

K_p	τ_i
0,1247	0,0281

Simulasi dan Analisis



**Mencari koordinasi
parameter kontroler
PI menggunakan
PSO**



**Mengetahui
karakteristik plant
motor PMDC**



**Mengatasi gangguan
berupa torsi mekanik
atau torsi beban**

Respon sistem yang dianalisis adalah kecepatan (ω_M), arus (I_A), torsi (T_E), dan tegangan (V).

Simulasi dan Analisis

**Respon sistem
dengan PI**

**Respon sistem dengan PI
yang dioptimisasi dengan
PSO**

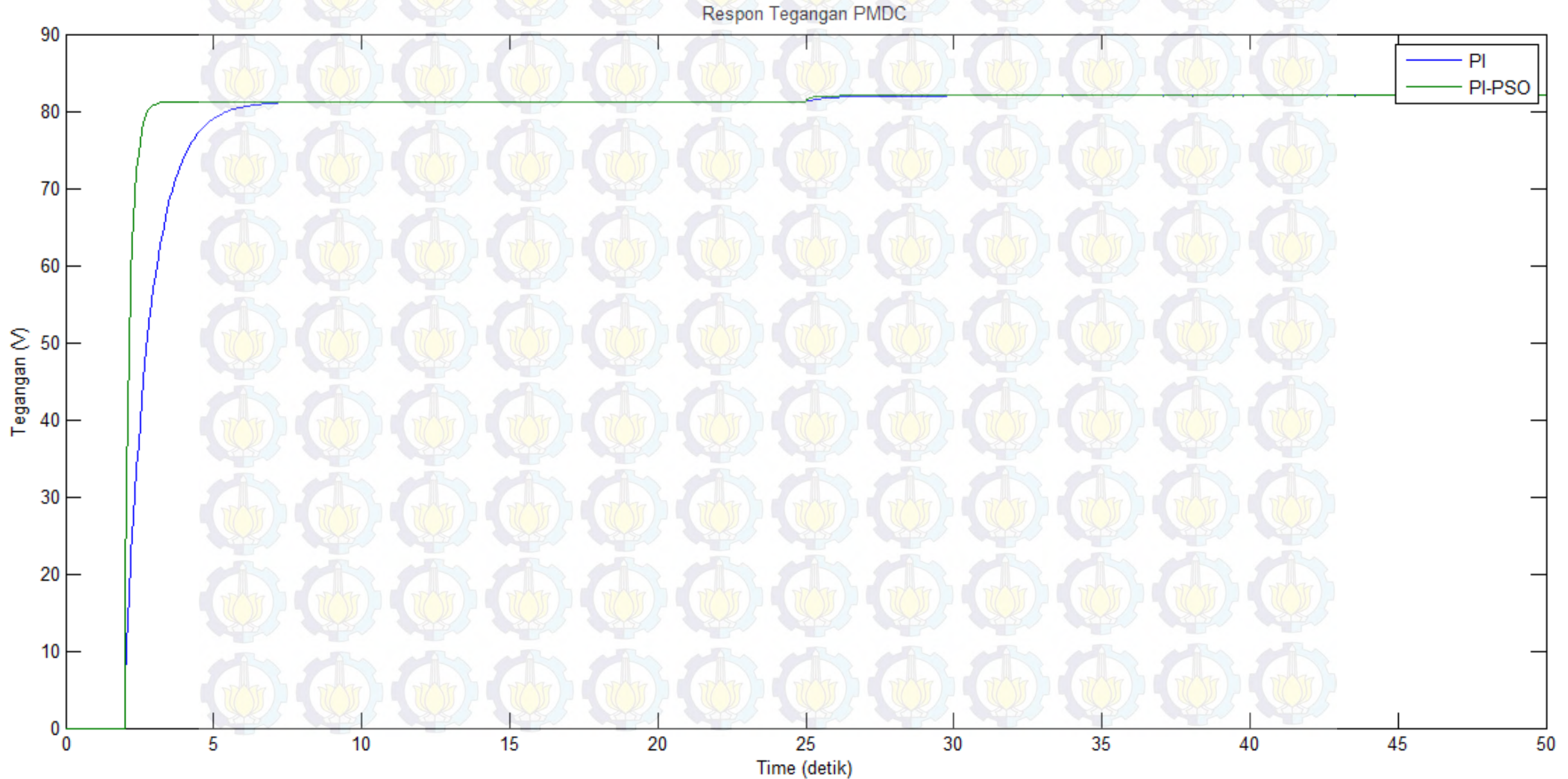
RESPON SISTEM DENGAN PI DAN PI YANG DIOPTIMISASI DENGAN PSO

**Gangguan pada sistem motor
PMDC pada tugas akhir ini adalah
torsi mekanik atau torsi beban.
Beban diberikan pada motor mulai
detik ke-25.**

**RESPON SISTEM DENGAN
KECEPATAN REFERENSI 100
RAD/S.**

**Beban diberikan pada motor mulai
detik ke-25.**

Respon Tegangan Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 1 Nm



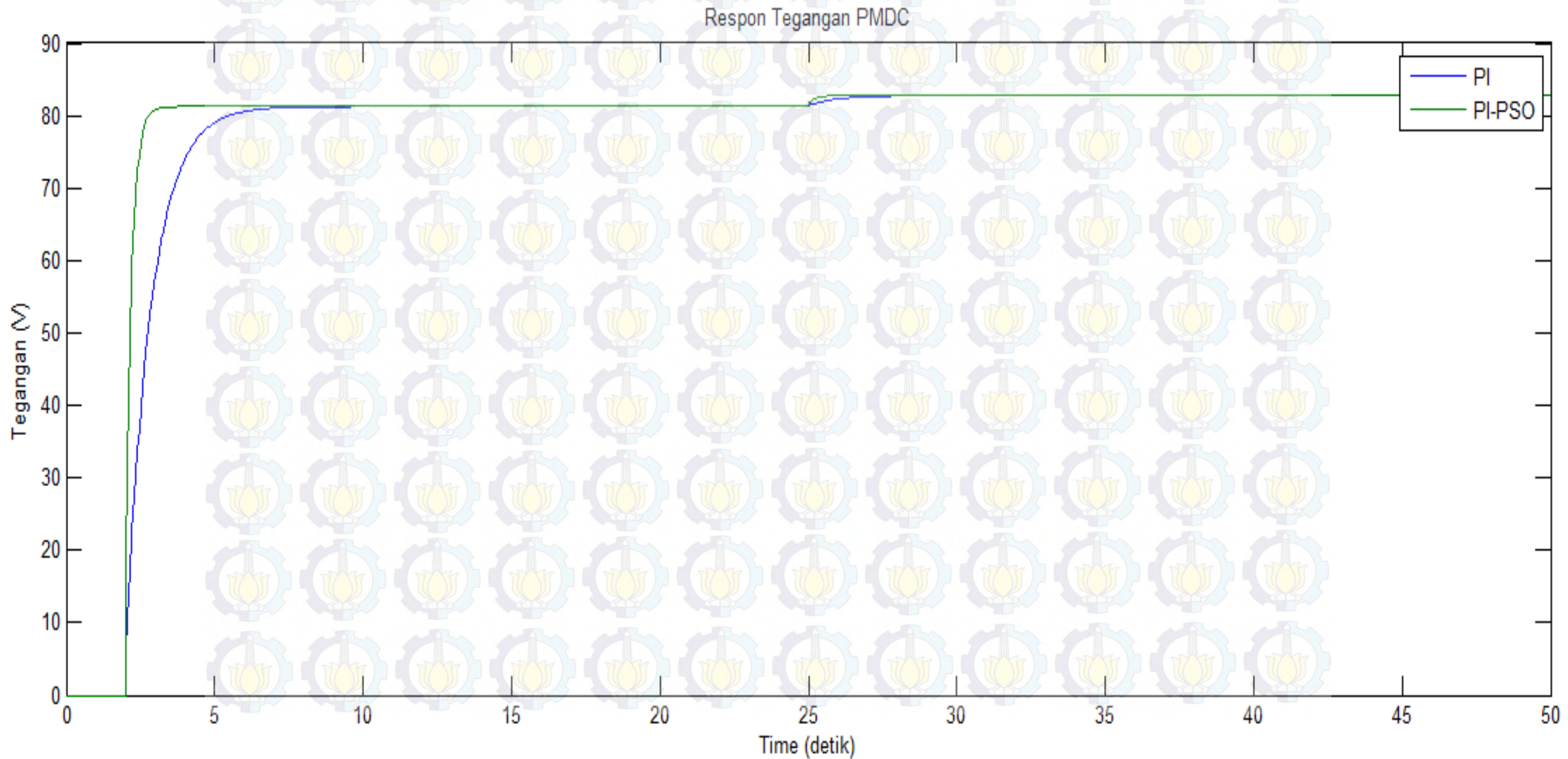
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon tegangan motor PMDC pada 0-25 detik ($T_L = 0 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 100 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	9,874	3,847

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon tegangan motor PMDC saat 25-50 detik ($T_L = 1 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 100 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	28,87	25,94

Respon Tegangan Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 2 Nm



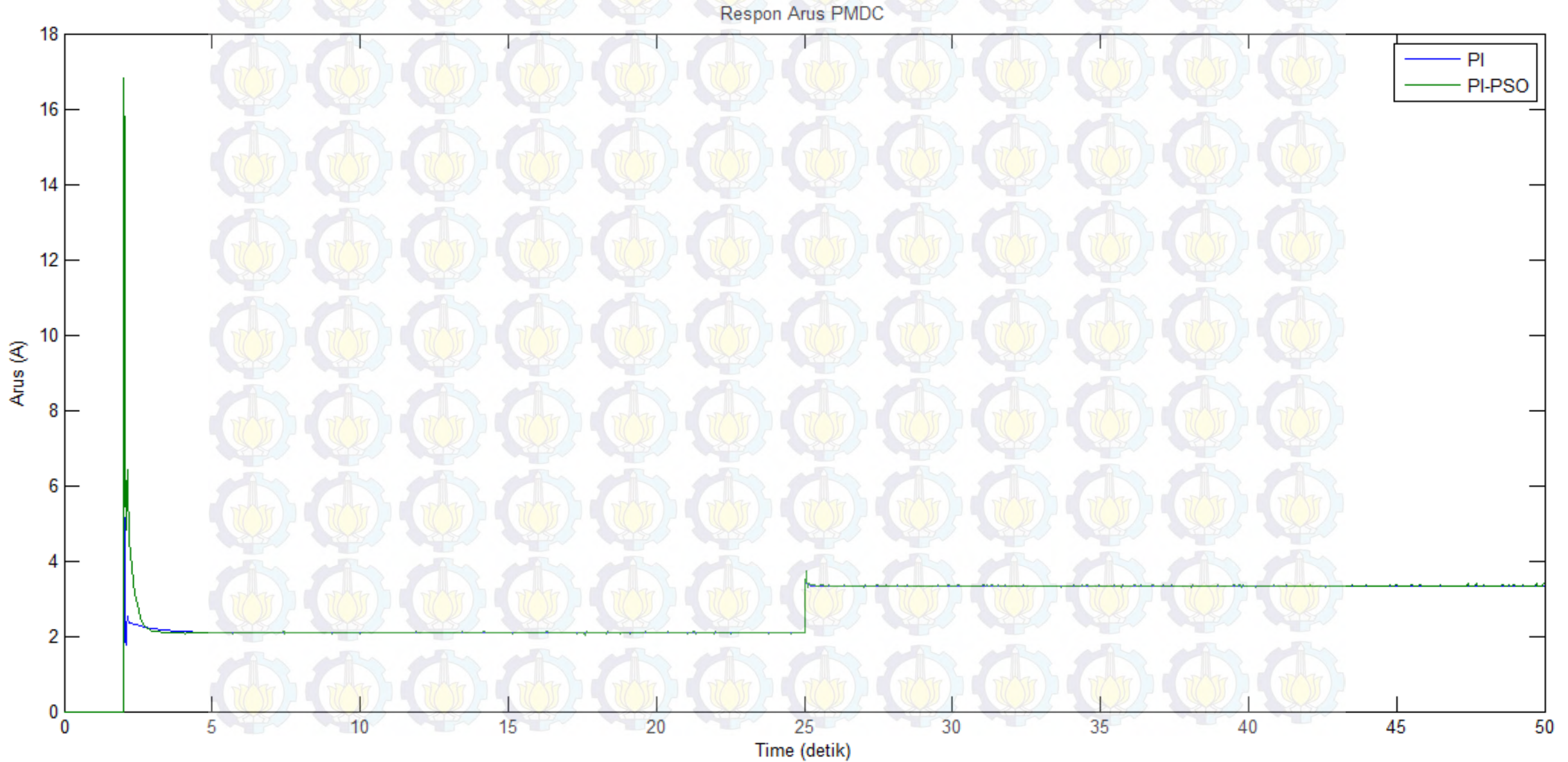
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon tegangan motor PMDC pada 0-25 detik ($T_L = 0 \text{ Nm}$, $\omega_{\text{ref}} = 100 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	9,874	3,847

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon tegangan motor PMDC saat 25-50 detik ($T_L = 2 \text{ Nm}$, $\omega_{\text{ref}} = 100 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	29,45	26,05

Respon Arus Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 1 Nm



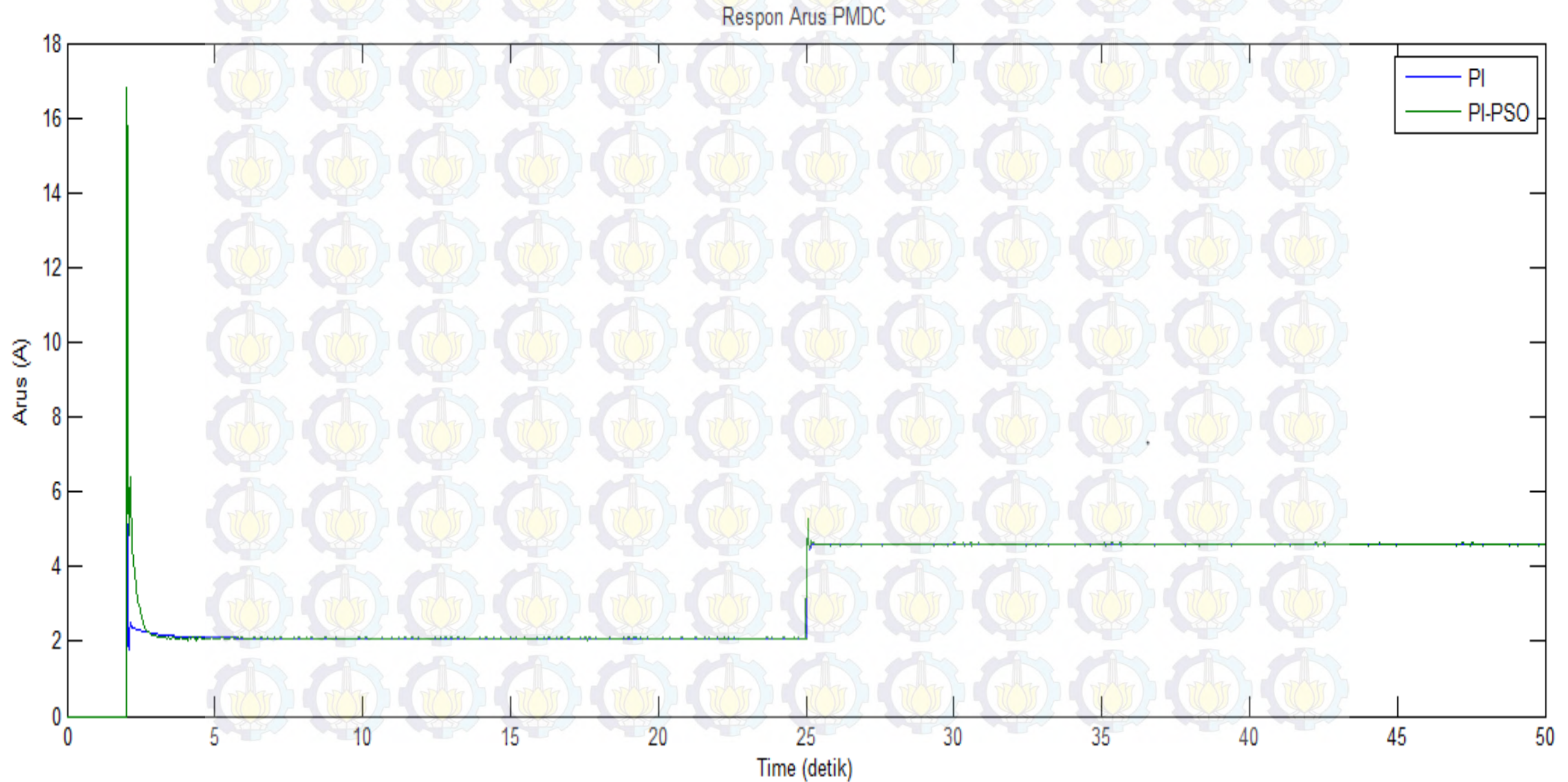
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon arus motor PMDC pada 0-25 detik (TL = 0 Nm, $\omega_{ref} = 100$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (A)	5,667	16,82
<i>Settling time</i> (det)	6,468	6,299

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon arus motor PMDC saat 25-50 detik (TL = 1 Nm, $\omega_{ref} = 100$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (A)	3,616	3,738
<i>Settling time</i> (det)	25,96	25,43

Respon Arus Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 2 Nm



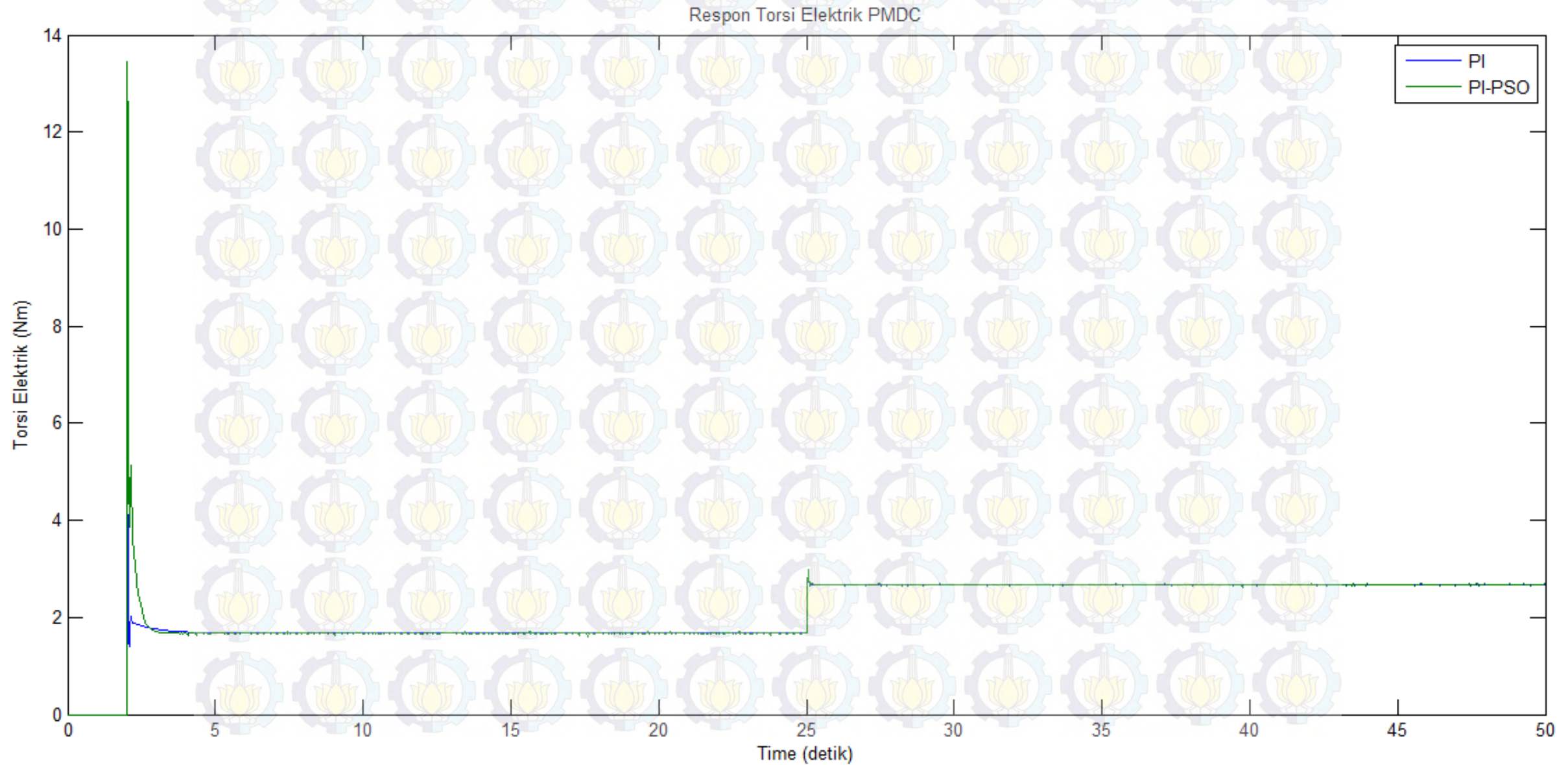
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon arus motor PMDC pada 0-25 detik (TL = 0 Nm, $\omega_{ref} = 100$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (A)	5,667	16,82
<i>Settling time</i> (det)	6,468	6,299

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon arus motor PMDC saat 25-50 detik (TL = 2 Nm, $\omega_{ref} = 100$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (A)	5,07	5,283
<i>Settling time</i> (det)	26,48	26,05

Respon Torsi Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 1 Nm



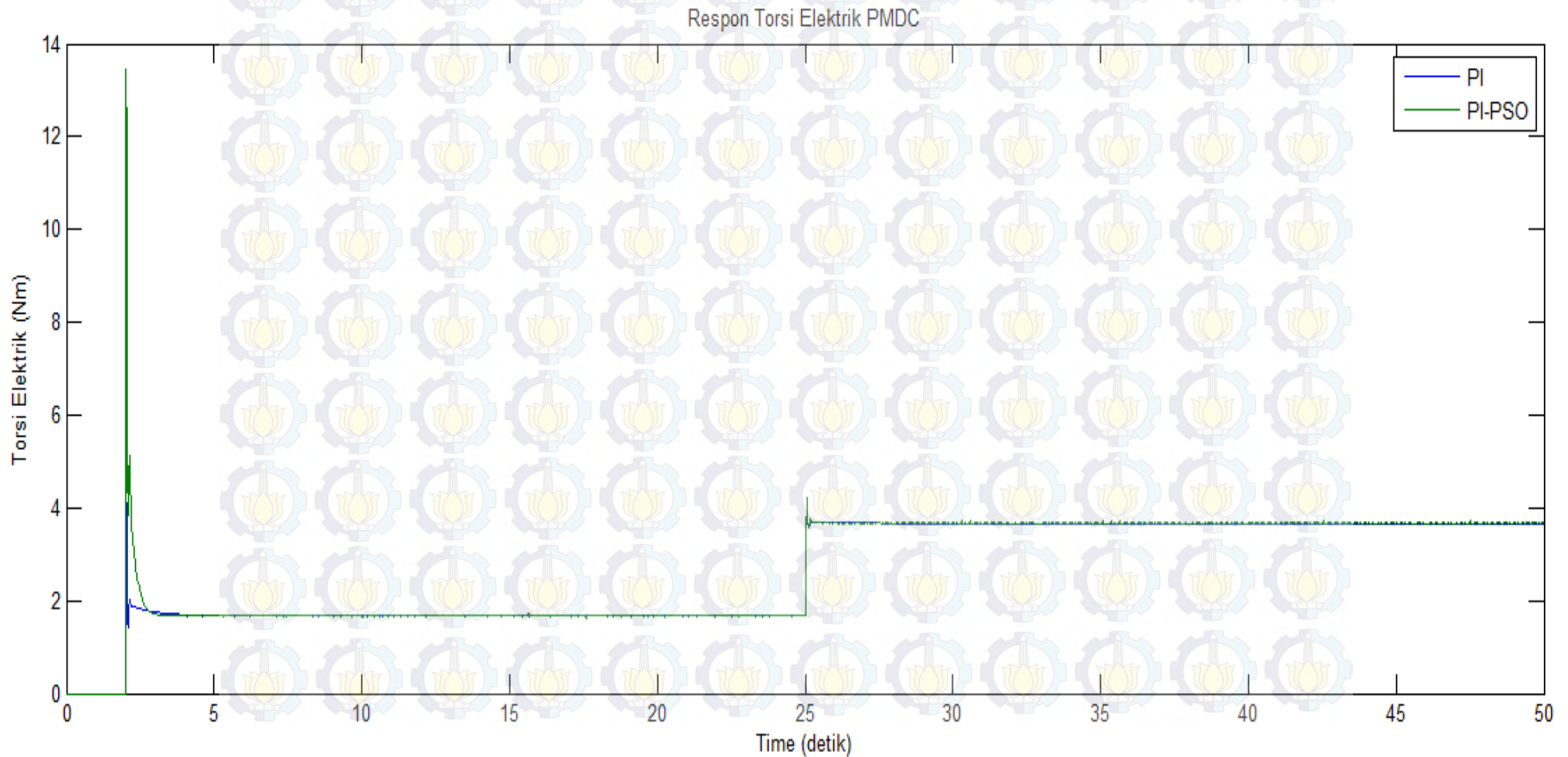
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon torsi motor PMDC pada 0-25 detik (TL = 0 Nm, $\omega_{ref} = 100$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (Nm)	4,534	13,46
<i>Settling time</i> (det)	6,468	6,299

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon torsi motor PMDC saat 25-50 detik (TL = 1 Nm, $\omega_{ref} = 100$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (Nm)	2,893	2,99
<i>Settling time</i> (det)	26,44	25,96

Respon Torsi Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 2 Nm



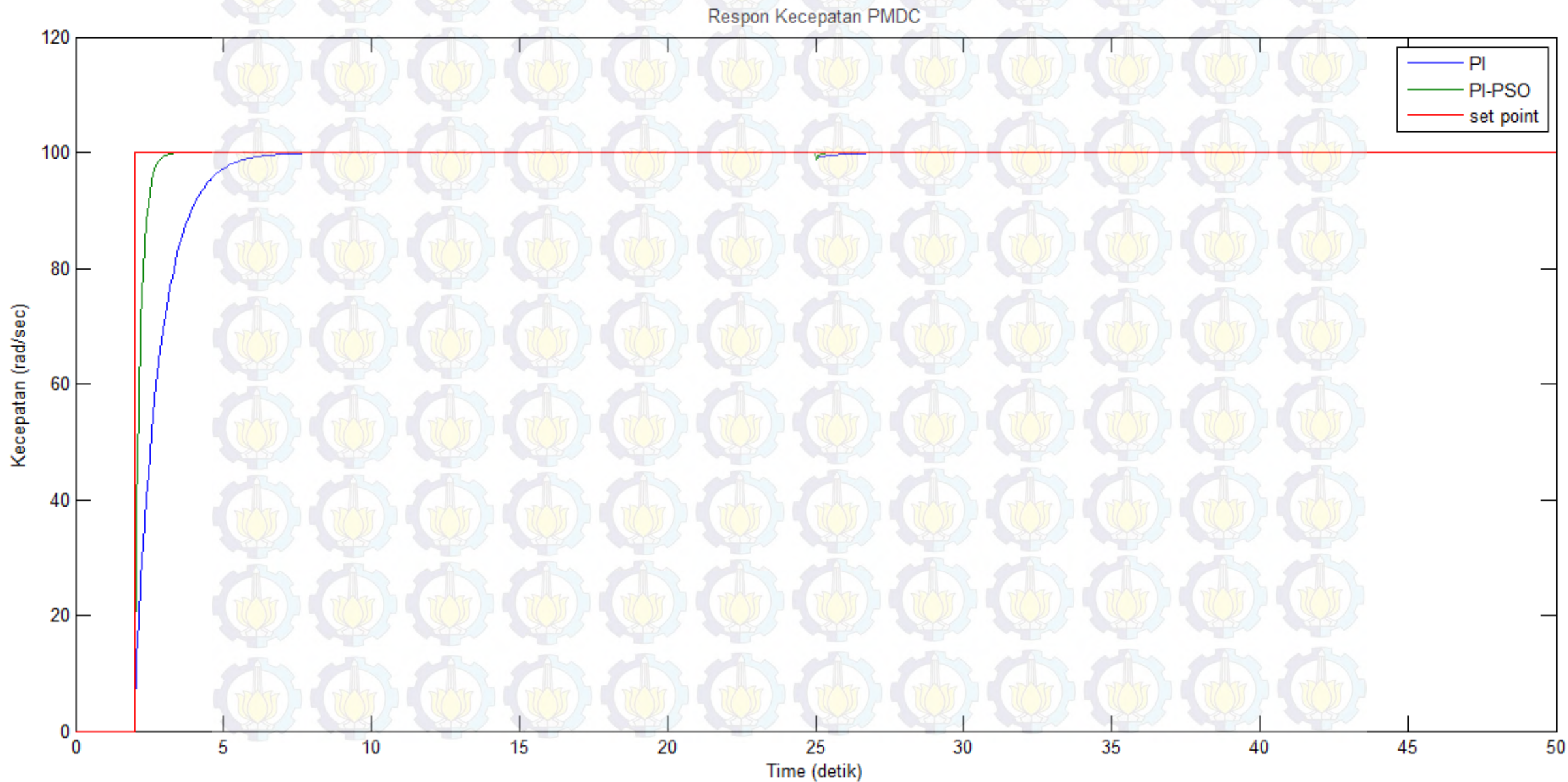
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon torsi motor PMDC pada 0-25 detik (TL = 0 Nm, $\omega_{ref} = 100$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (Nm)	4,534	13,46
<i>Settling time</i> (det)	6,468	6,299

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon torsi motor PMDC saat 25-50 detik (TL = 2 Nm, $\omega_{ref} = 100$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (Nm)	4,056	4,227
<i>Settling time</i> (det)	27,08	26,84

Respon Kecepatan Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 1 Nm



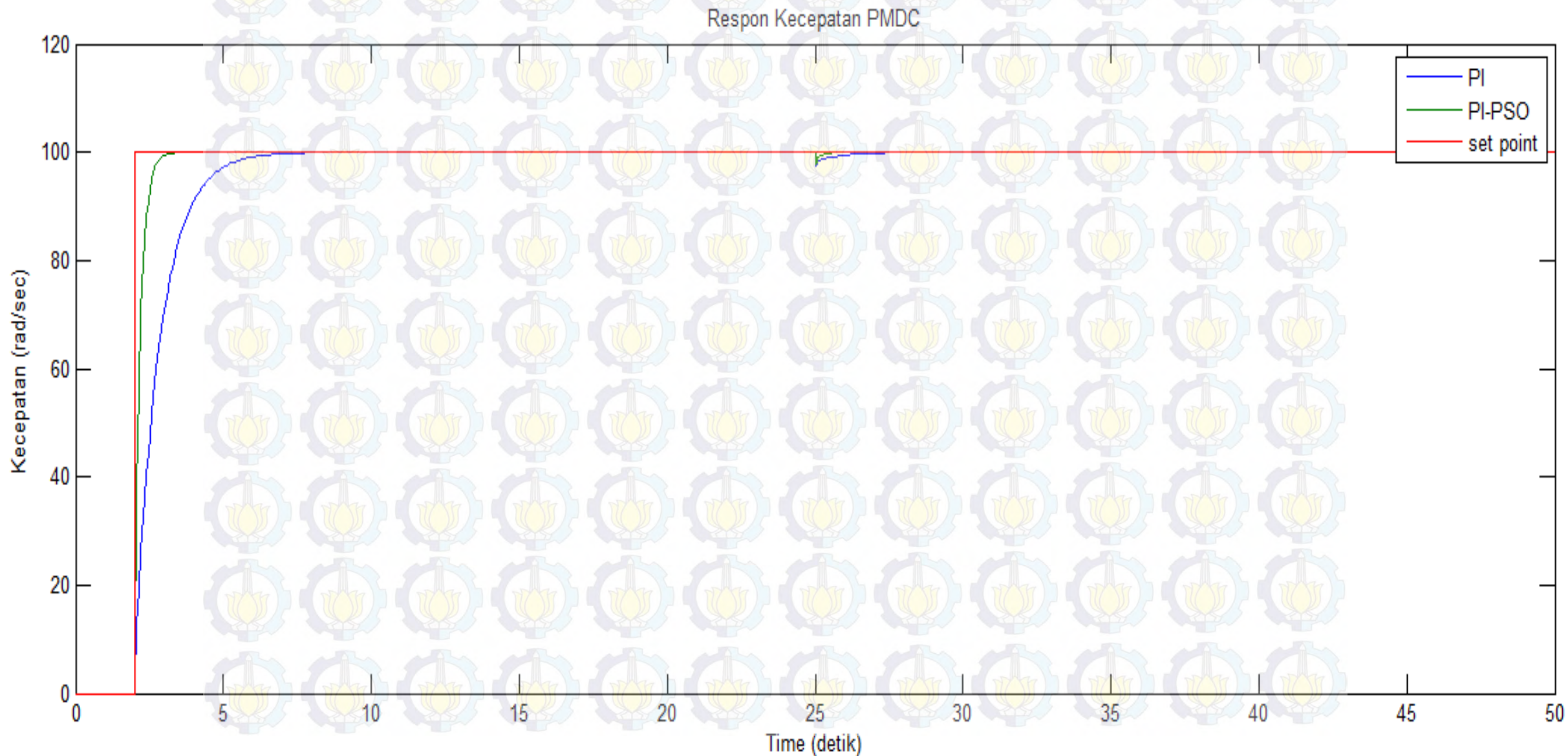
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon kecepatan motor PMDC pada 0-25 detik ($T_L = 0 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 100 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (rad/s)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	10,41	3,847

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon kecepatan motor PMDC saat 25-50 detik ($T_L = 1 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 100 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (rad/s)	98,76	98,85
<i>Settling time</i> (det)	29,47	26,11

Respon Kecepatan Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 2 Nm



Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon kecepatan motor PMDC pada 0-25 detik ($T_L = 0 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 100 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (rad/s)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	10,41	3,847

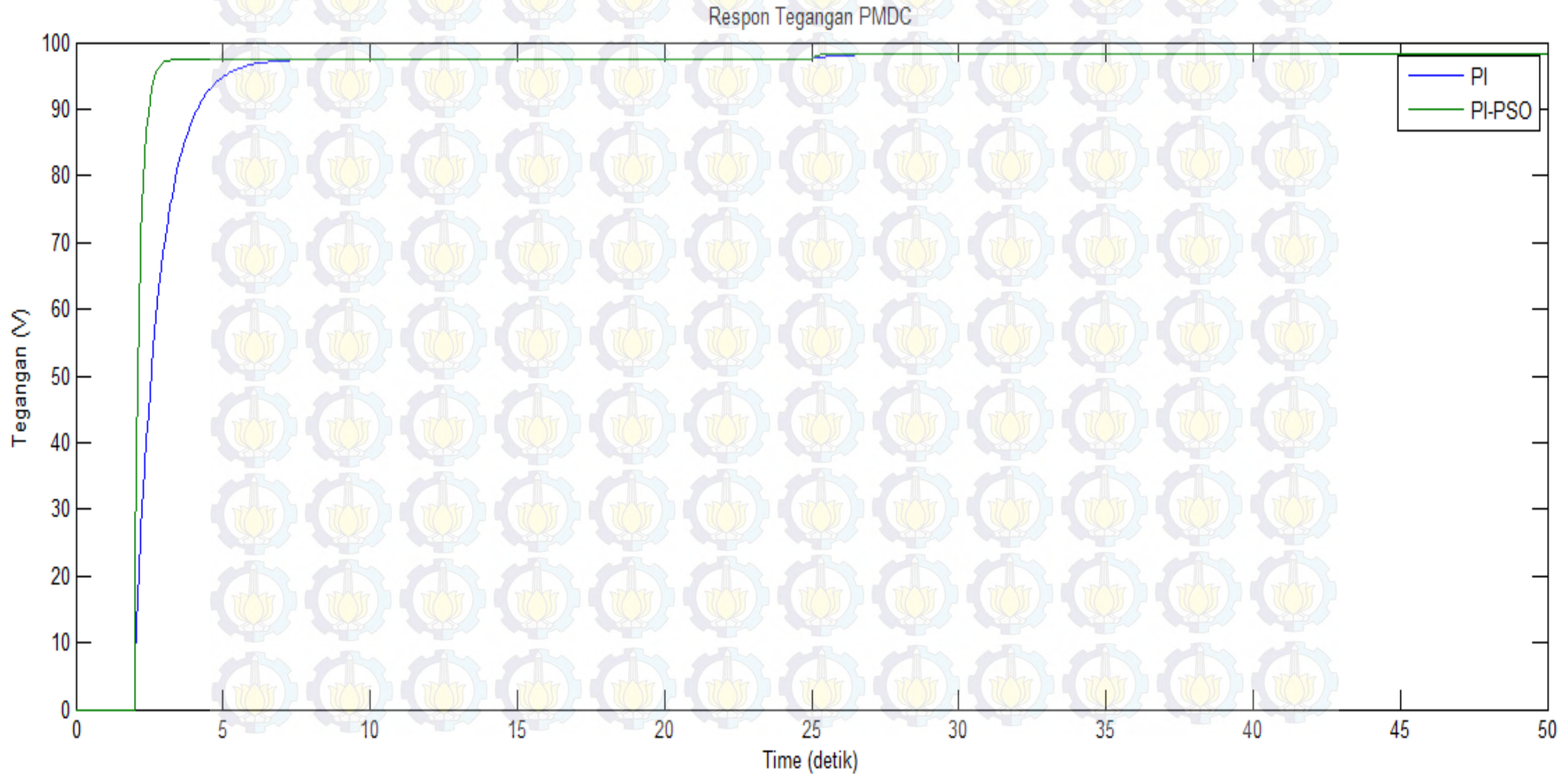
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon kecepatan motor PMDC saat 25-50 detik ($T_L = 2 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 100 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (rad/s)	97,59	97,71
<i>Settling time</i> (det)	30,04	26,17

**RESPON SISTEM DENGAN
KECEPATAN REFERENSI 120
RAD/S.**

**Beban diberikan pada motor mulai
detik ke-25.**

Respon Tegangan Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 1 Nm



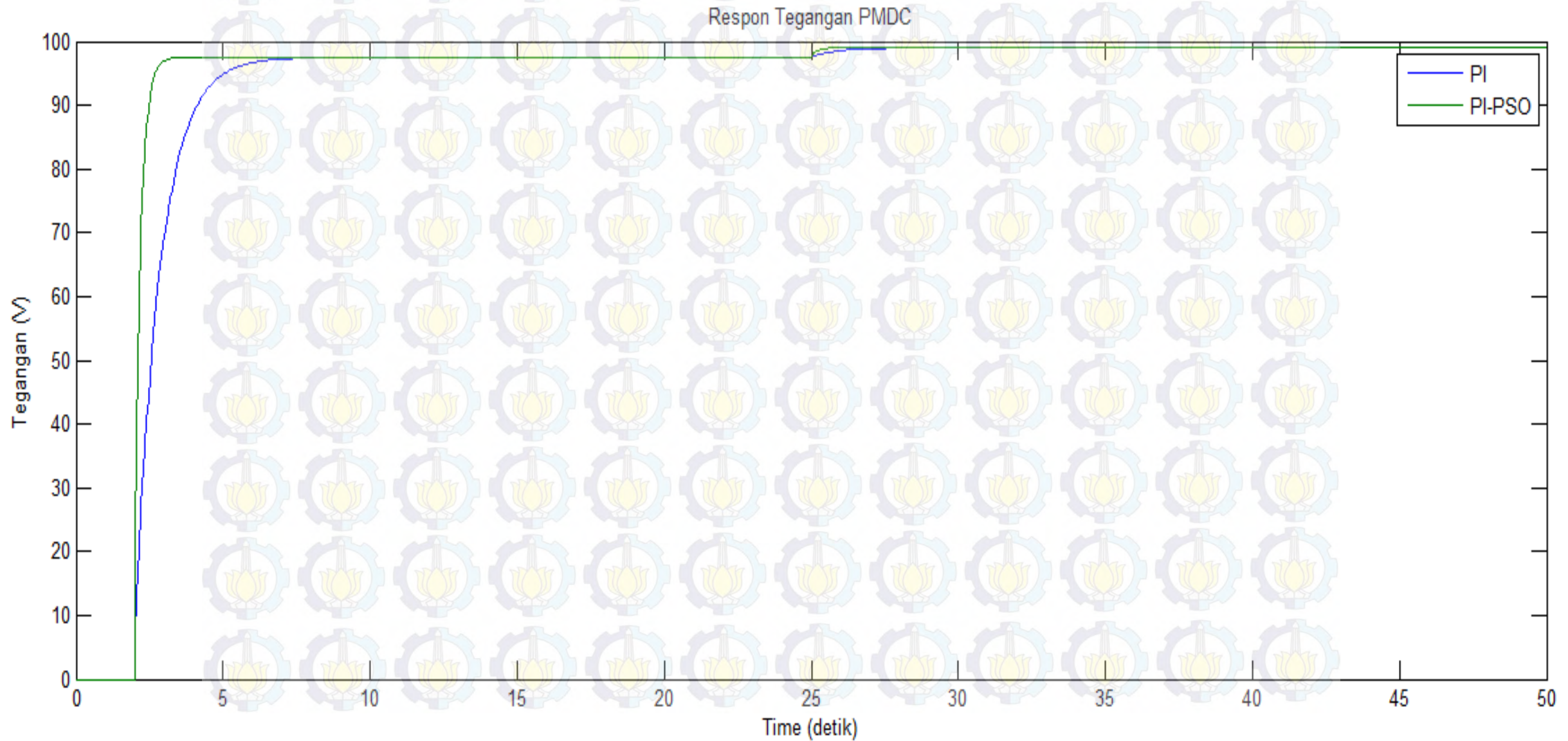
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon tegangan motor PMDC pada 0-25 detik ($T_L = 0 \text{ Nm}$, $\omega_{\text{ref}} = 120 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	9,967	3,847

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon tegangan motor PMDC saat 25-50 detik ($T_L = 1 \text{ Nm}$, $\omega_{\text{ref}} = 120 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	28,81	25,9

Respon Tegangan Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 2 Nm



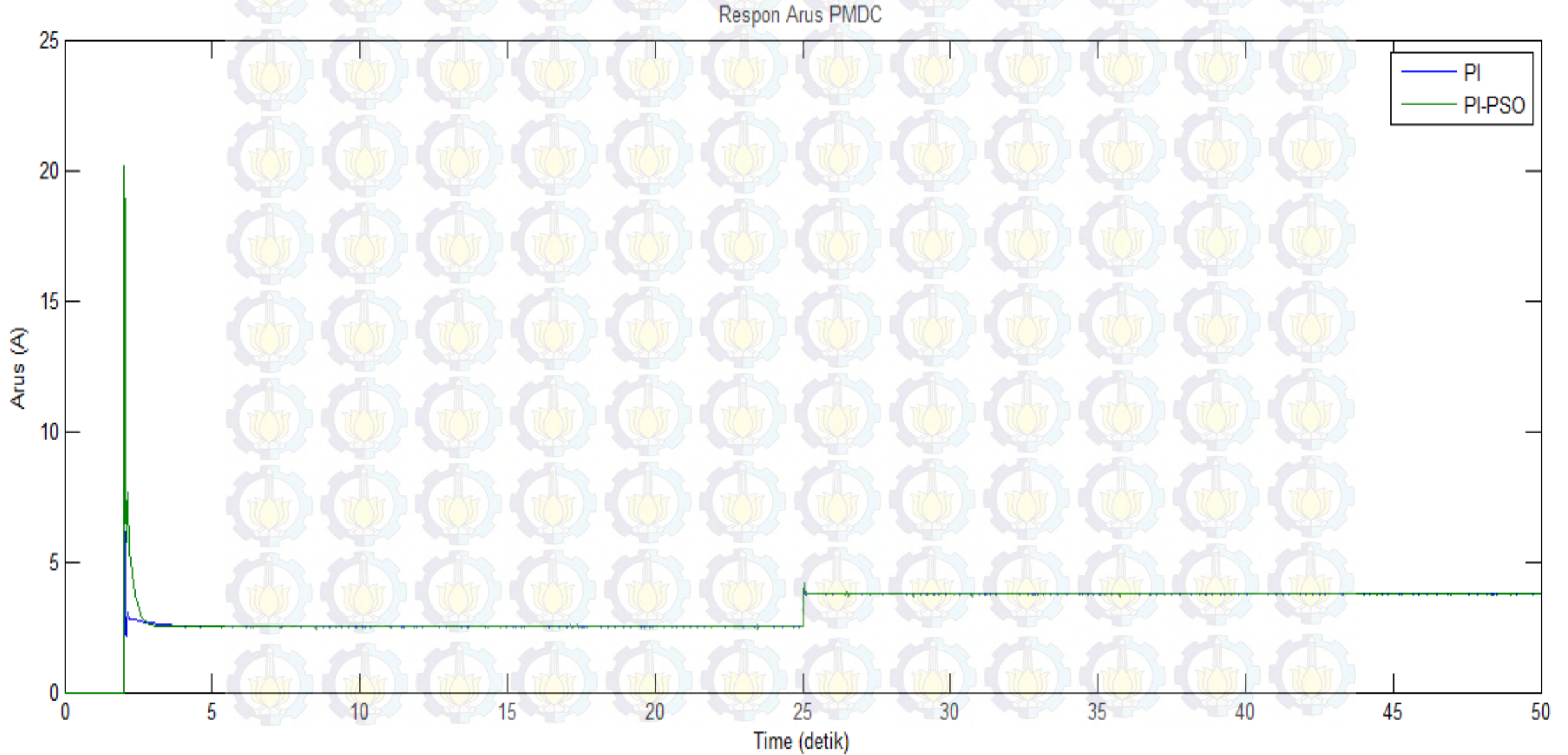
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon tegangan motor PMDC pada 0-25 detik ($T_L = 0 \text{ Nm}$, $\omega_{\text{ref}} = 120 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	9,967	3,847

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon tegangan motor PMDC saat 25-50 detik ($T_L = 2 \text{ Nm}$, $\omega_{\text{ref}} = 120 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	29,38	26

Respon Arus Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 1 Nm



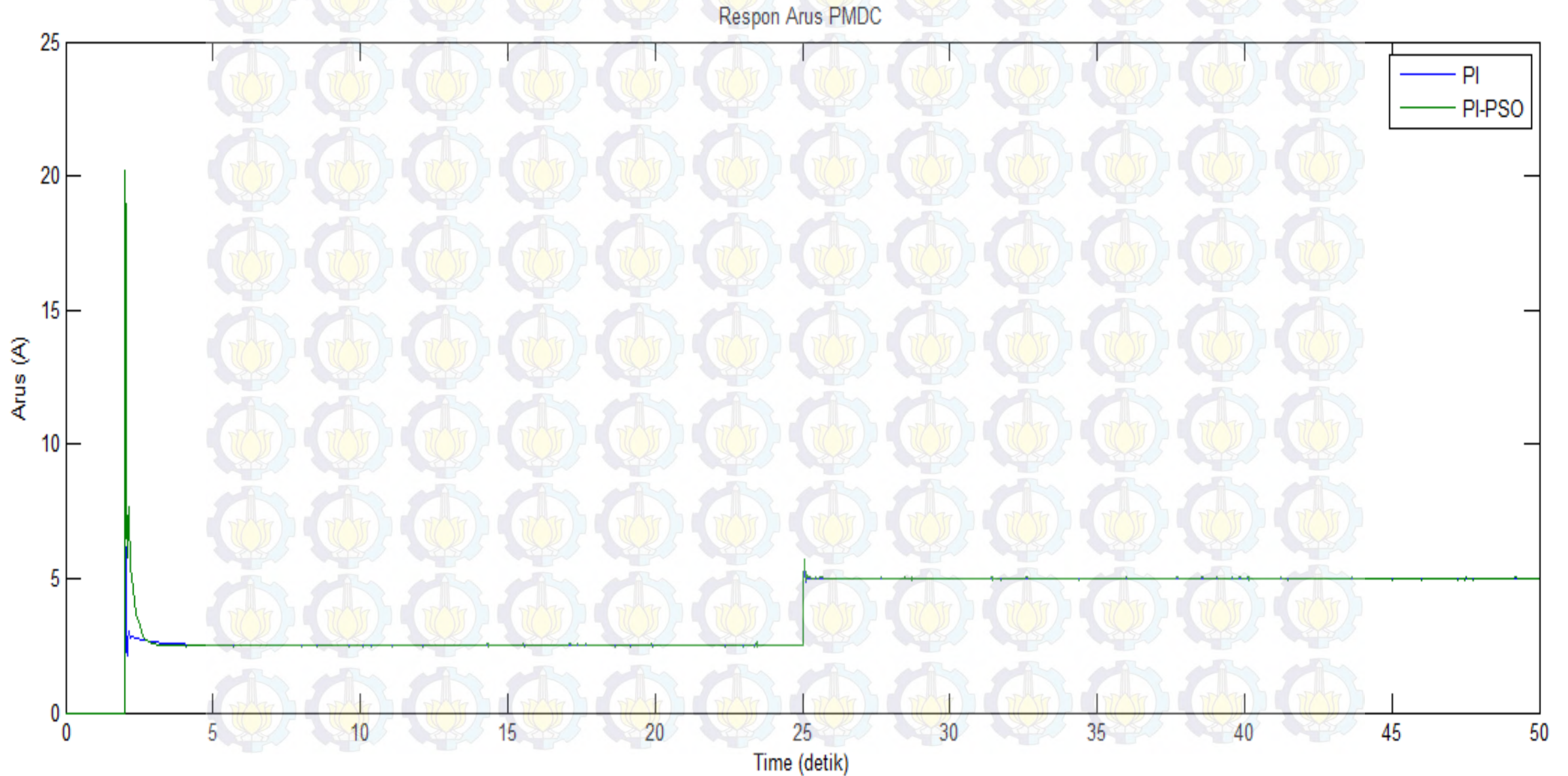
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon arus motor PMDC pada 0-25 detik (TL = 0 Nm, $\omega_{ref} = 120$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	6,8	20,18
<i>Settling time</i> (det)	6,405	6,351

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon arus motor PMDC saat 25-50 detik (TL = 1 Nm, $\omega_{ref} = 120$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	4,039	4,152
<i>Settling time</i> (det)	26,15	25,8

Respon Arus Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 2 Nm



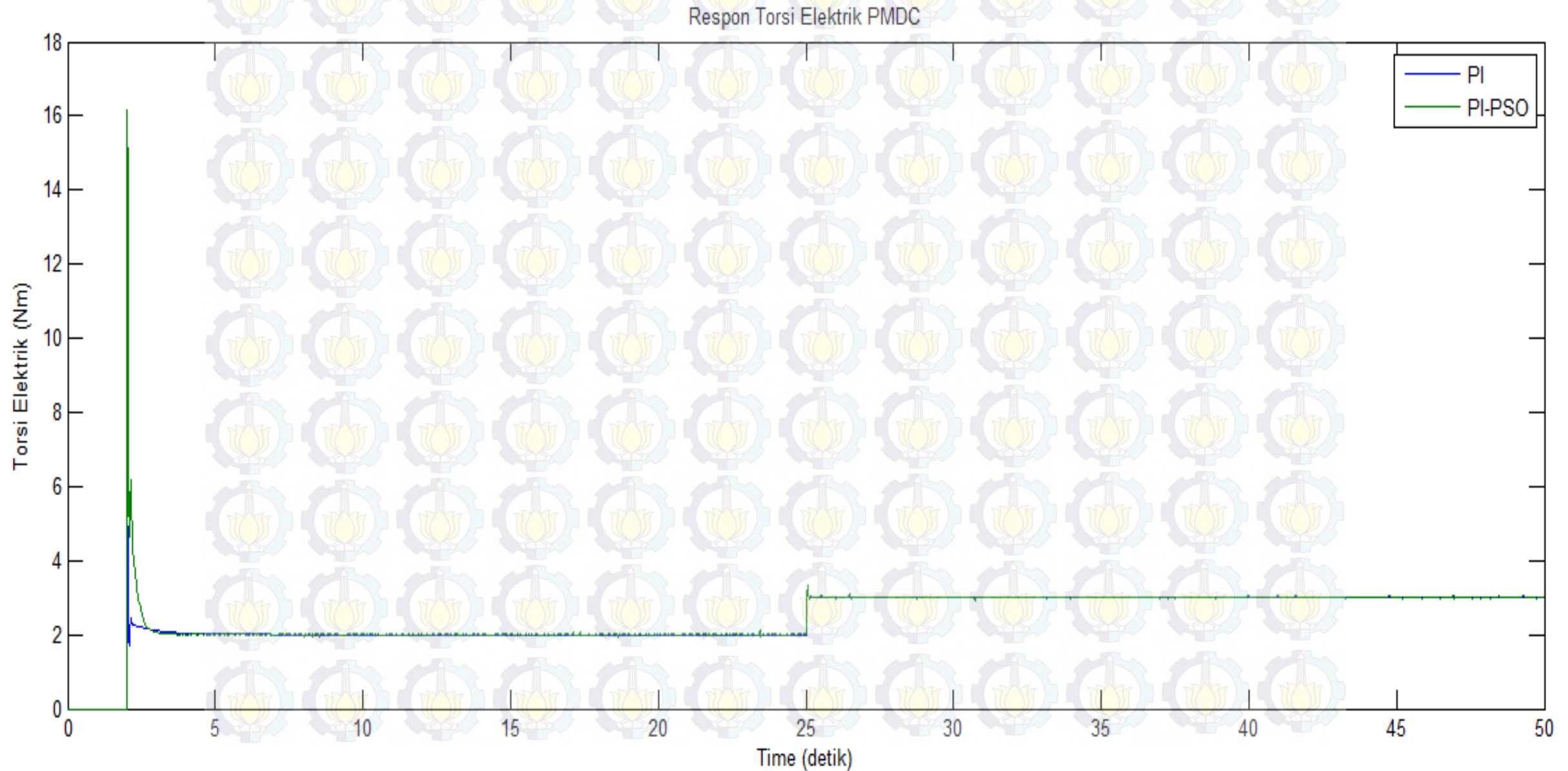
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon arus motor PMDC pada 0-25 detik (TL = 0 Nm, $\omega_{ref} = 120$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (V)	6,8	20,18
<i>Settling time</i> (det)	6,405	6,351

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon arus motor PMDC saat 25-50 detik (TL = 2 Nm, $\omega_{ref} = 120$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (A)	5,479	5,739
<i>Settling time</i> (det)	27,44	26,11

Respon Torsi Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 1 Nm



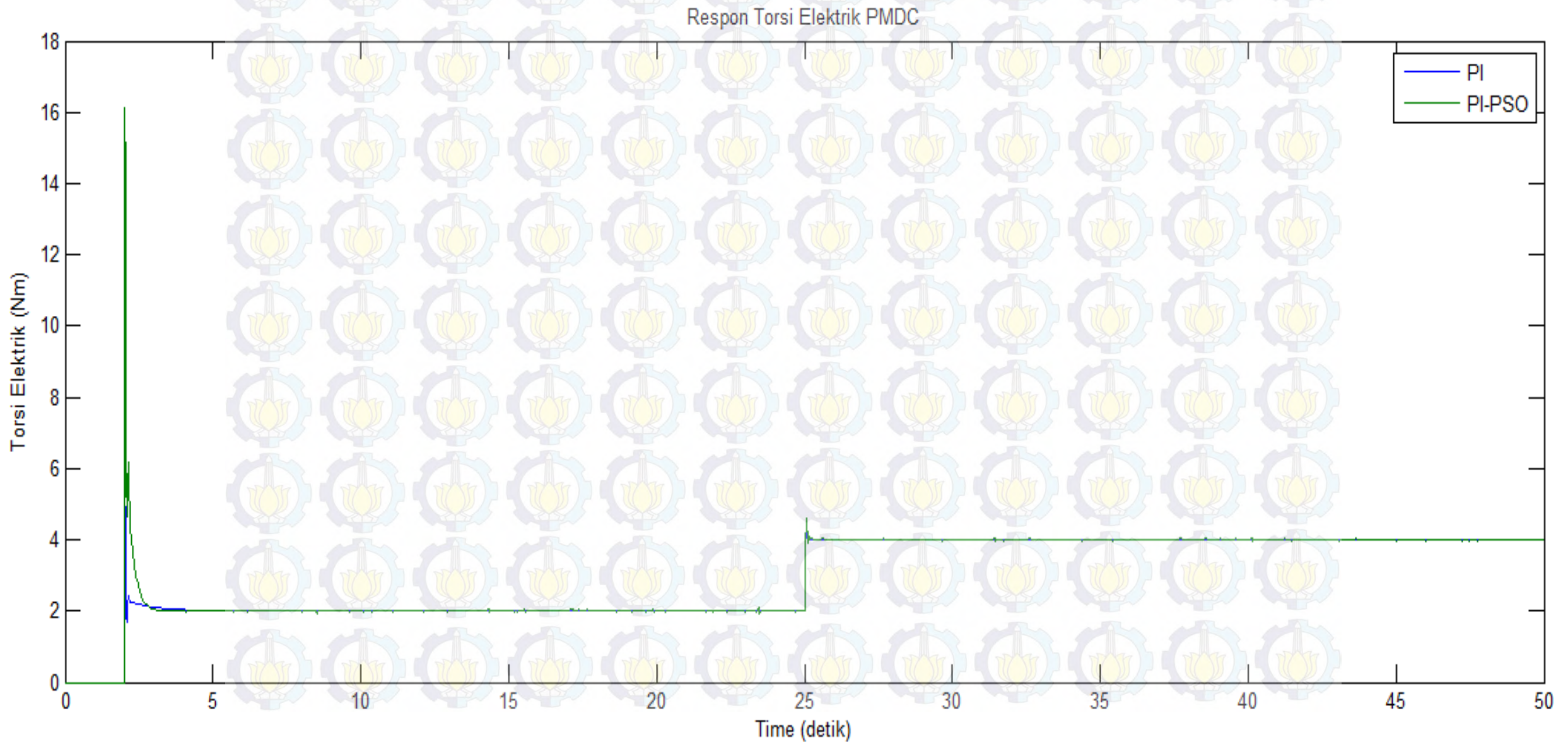
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon torsi motor PMDC pada 0-25 detik (TL = 0 Nm, $\omega_{ref} = 120$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (Nm)	5,44	16,15
<i>Settling time</i> (det)	6,469	6,299

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon torsi motor PMDC saat 25-50 detik (TL = 1 Nm, $\omega_{ref} = 120$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (Nm)	3,231	3,322
<i>Settling time</i> (det)	26,3	25,42

Respon Torsi Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 2 Nm



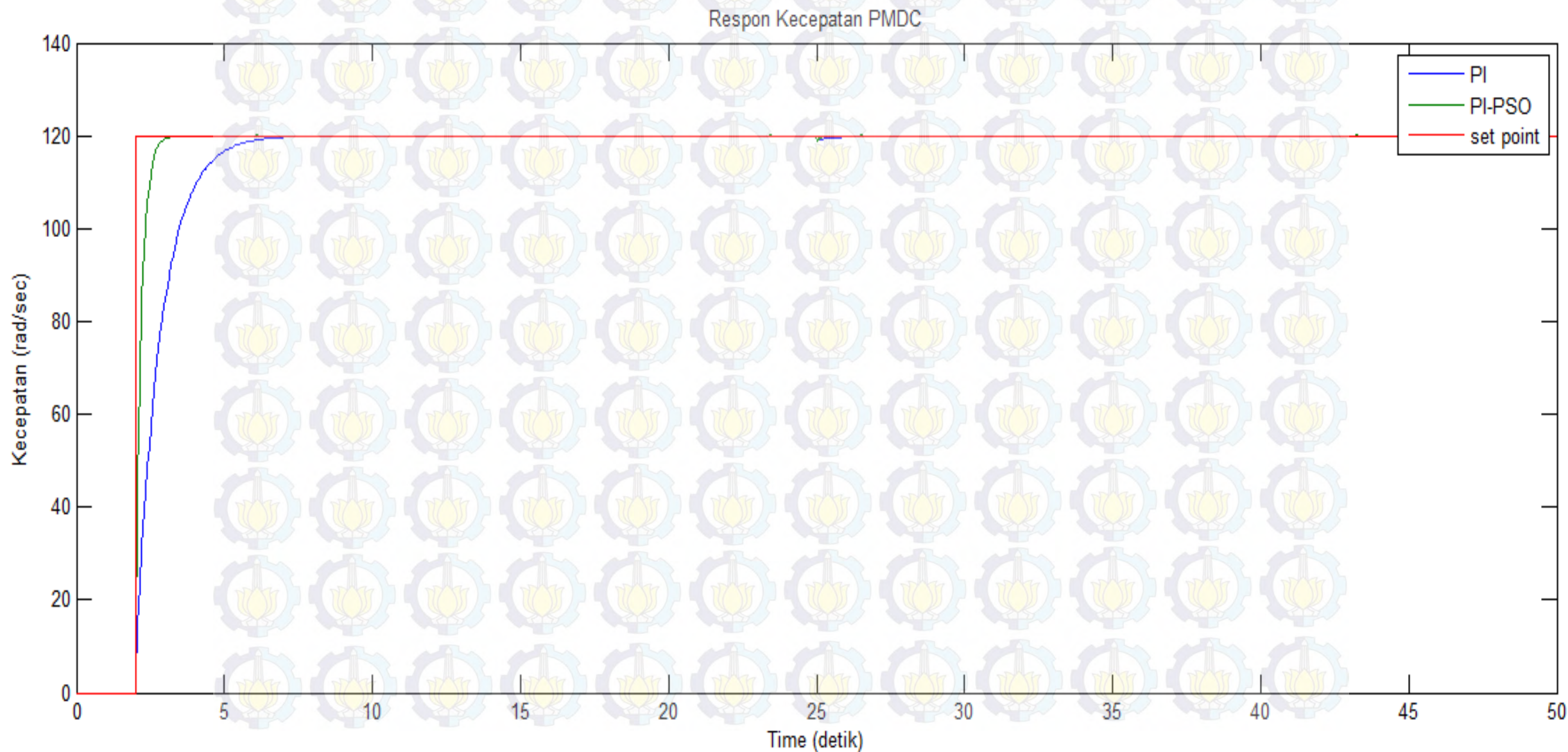
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon torsi motor PMDC pada 0-25 detik (TL = 0 Nm, $\omega_{ref} = 120$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (Nm)	5,44	16,15
<i>Settling time</i> (det)	6,469	6,299

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon torsi motor PMDC saat 25-50 detik (TL = 2 Nm, $\omega_{ref} = 120$ rad/sec)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (Nm)	4,384	4,591
<i>Settling time</i> (det)	27,44	26,11

Respon Kecepatan Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 1 Nm



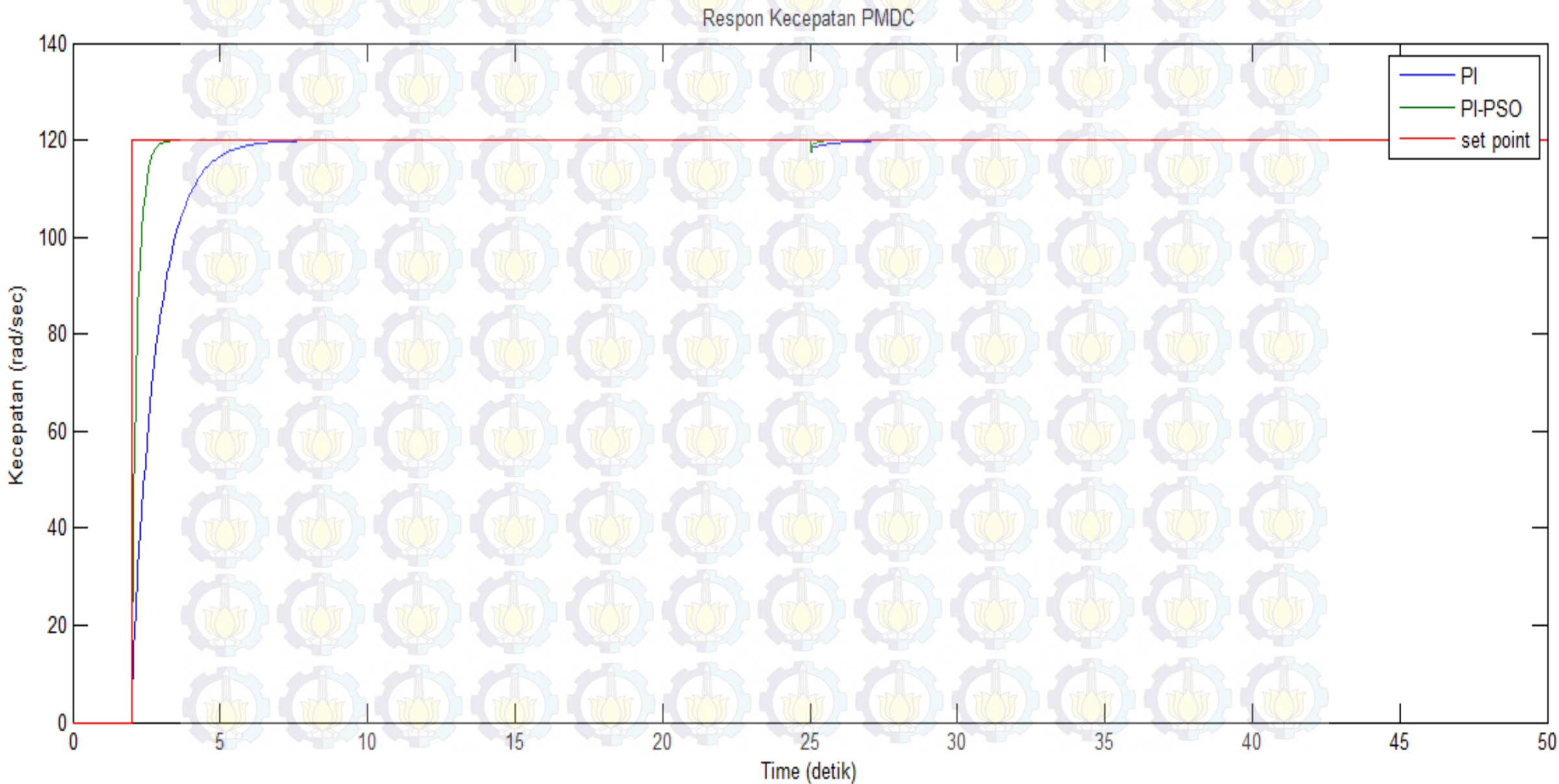
Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon kecepatan motor PMDC pada 0-25 detik ($T_L = 0 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 120 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (rad/s)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	8,581	3,534

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon kecepatan motor PMDC saat 25-50 detik ($T_L = 1 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 120 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (rad/s)	118,8	118,9
<i>Settling time</i> (det)	27,46	25,61

Respon Kecepatan Motor PMDC dengan Gangguan Torsi Mekanik 2 Nm



Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon kecepatan motor PMDC pada 0-25 detik ($T_L = 0 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 120 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (rad/s)	0	0
<i>Settling time</i> (det)	8,581	3,534

Perbandingan *overshoot* dan *settling time* respon kecepatan motor PMDC saat 25-50 detik ($T_L = 2 \text{ Nm}$, $\omega_{ref} = 120 \text{ rad/sec}$)

Metode Kontrol	PI	PI PSO
<i>Overshoot</i> (rad/s)	117,6	117,7
<i>Settling time</i> (det)	28,05	25,62

KESIMPULAN

1. Metode PSO dapat digunakan untuk menentukan koordinasi parameter PI yang optimal.
2. Kontroler PI yang optimal dapat diterapkan pada sistem motor PMDC untuk meredam osilasi respon sistem motor PMDC.
3. Penerapan PSO terhadap PI pada sistem motor PMDC dapat memperkecil *overshoot* respon sistem dan mempercepat *settling time* sistem.
4. Perubahan respon sistem akan terjadi ketika motor diberi gangguan beban.

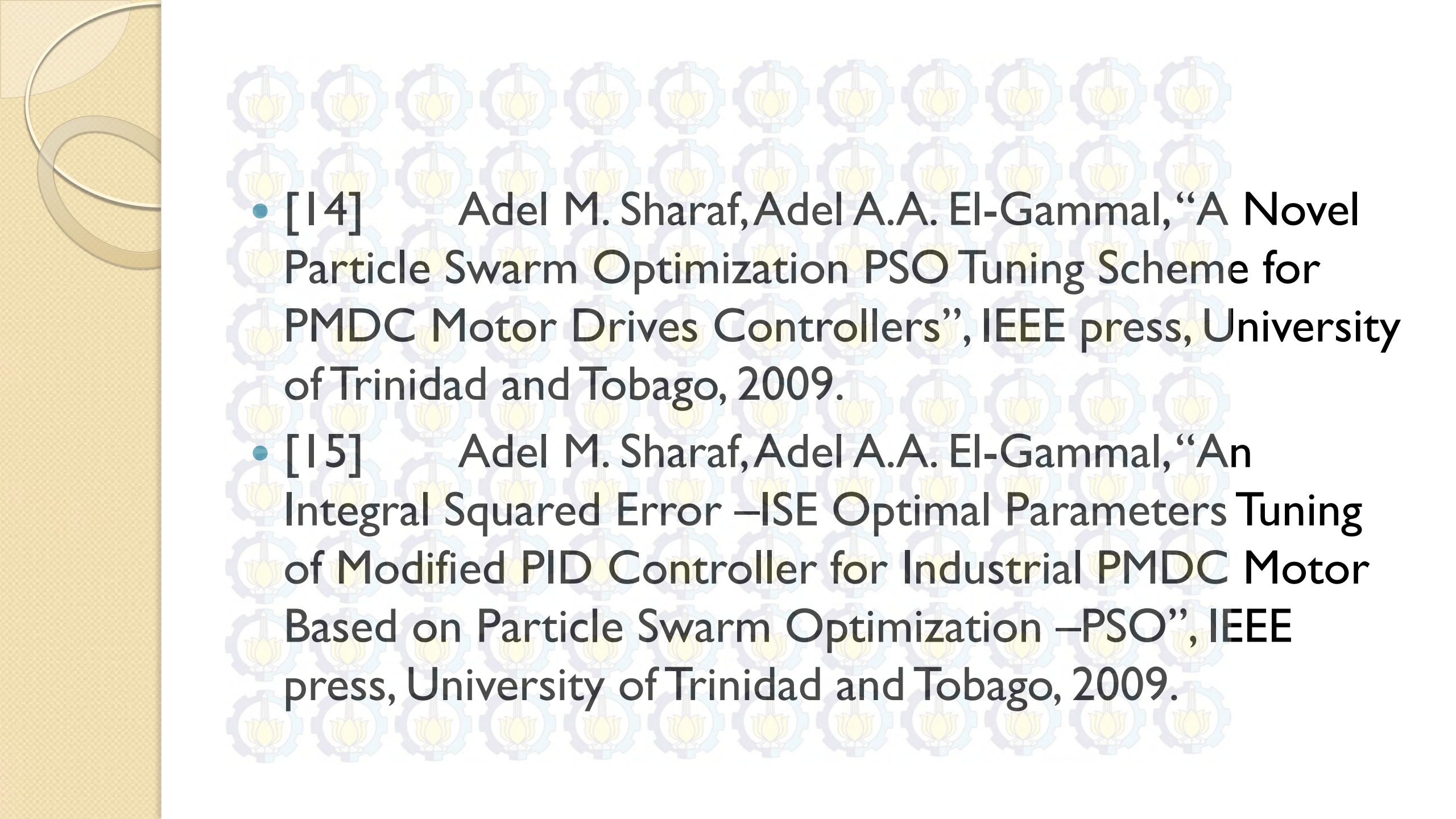
SARAN

1. Untuk mendapatkan koordinasi parameter PI yang optimal pada sistem motor PMDC dapat dilakukan dengan menggunakan komputasi cerdas yang lain untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.
2. Kontroler PI dapat diterapkan pada sistem yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Imam Robandi, “Modern Power System Control”, Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2009.
- [2] Imam Robandi, “Desain Sistem Tenaga Modern”, Penerbit ANDI, Yogyakarta, 2006.
- [3] Soebagio, “Teori Umum Mesin Elektrik”, Penerbit Srikandi, Surabaya, 2008.
- [4] Zuhail, “Dasar Tenaga Listrik”, Penerbit ITB, Bandung, 1991.
- [5] Djiteng Marsudi, “Operasi Sistem Tenaga Listrik”. 2006, Graha Ilmu, Yogyakarta. ISBN 978-756.
- [6] Robert Babuska, Stefano Stramigioli, “Matlab and Simulink for Modelling and Control”, Delft University of Technology, 1999.

- 
- [7] M.V. Deshpande, "Electric Motors Applications and Control", 1990, published by Y.P. Choopra for A. Wheeler & Co. Ltd., 23, L. B. Shastri Marg Allahabad-211 001.
- [8] Jimmie J. Cathey, "Electricmachines Analysis and Design Applying Matlab", University of Kentucky USA, 2001
- [9] Katsuhiko Ogata, "Teknik Kontrol Automatik", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1989.
- [10] Iwan Setiawan, "Kontrol PID Untuk Proses Industri", Penerbit PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [11] Sulasno, "Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan", Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta, 2009.
- [12] Uma maheswararao.Ch, Y.S.Kishore Babu, K.Amaresh "Sliding Mode Speed Control of a DC Motor", International Conference on Communication Systems and Network Technologies, 2011.
- [13] Ghazanfar Shahgolian, Pegah Shafaghi, "State Space Modeling and Eigenvalue Analysis of the Permanent Magnet DC Motor Drive System", IEEE press, Department of Electrical Engineering Islamic Azad University Iran , 2010.

- 
- [14] Adel M. Sharaf, Adel A.A. El-Gammal, “A Novel Particle Swarm Optimization PSO Tuning Scheme for PMDC Motor Drives Controllers”, IEEE press, University of Trinidad and Tobago, 2009.
 - [15] Adel M. Sharaf, Adel A.A. El-Gammal, “An Integral Squared Error –ISE Optimal Parameters Tuning of Modified PID Controller for Industrial PMDC Motor Based on Particle Swarm Optimization –PSO”, IEEE press, University of Trinidad and Tobago, 2009.

- [16] Adel M. Sharaf, Adel A.A. El-Gammal, “Optimal Multi Incremental Self Regulating Speed Controller for Industrial PMDC Motor Drive Systems”, IEEE press, University of Trinidad and Tobago, 2009.
- [17] Asim H. Syed, M.A. Abido, “Differential Evolution based Intelligent Control for Speed Regulation of a PMDC Motor”, IEEE press, Greece, 2013.
- [18] Aashish Kumar Bohre, Dr. Ganga Agnihotri, Dr. Manisha Dubey, “Hybrid Butterfly Based Particle Swarm Optimization for Optimization Problems”, IEEE press, India, 2014 .
- [19] K.H. Ng, C.F. Yeong, E.L.M. Su, A.R. Husain, “Current Sensorless Control of a PMDC Motor using Kalman Filter and Cascaded PID Controller”, IEEE press, Universiti Teknologi Malaysia, 2012.
- [20] Yongbin Ma, Yongxin Liu, Cun Wang, “Design of Parameters Self-tuning Fuzzy PID Control for DC Motor”, IEEE press, Inner Mongolia University China, 2010
- [21] Otto Bucsu, Gabor Kawai, Istvan Kecskes, “Modeling the Neuro-Fuzzy Control with the Dynamic Model of the Permanent Magnet DC Motor”, 4th Serbian-Hungarian Joint Symposium on Intelligent Systems, 2006.

- [22] Ahmad A. Mahfouz, Mohammed M.K., Farhan A. Salem “Modeling, Simulation and Dynamics Analysis Issues of Electric Motor, for Mechatronics Applications, Using Different Approaches and Verification by MATLAB/Simulink”, I.J. Intelligent Systems and Applications, MECS, 2013.
- [23] Boumediène Allaoua, Brahim Gasbaoui and Brahim Mebarki, “Setting Up PID DC Motor Speed Control Alteration Parameters Using Particle Swarm Optimization Strategy”, Bechar University Algeria, Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 2009.
- [24] Haytham M. Fayek and I. Elamvazuthi, “Type-2 Fuzzy Logic PI (T2FLPI) Based DC Servomotor Control”, Journal of Applied Sciences Research ISSN, Universiti Tecknologi PETRONAS Malaysia, 2012.
- [25] M.B.B. Sharifian, R.Rahnavard and H.Delavari, “Velocity Control of DC Motor Based Intelligent methods and Optimal Integral State Feedback Controller”, International Journal of Computer Theory and Engineering, Iran, 2009.
- [26] Wendy Kurniawan Kautsar, “Koordinasi Kontroler PID dan Thyristor Controlled Phase Shifter (TCPS) Pada Load Frequency Control (LFC) Menggunakan Differential Evolution (DE)”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2012.



TERIMA KASIH